

# BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO PARA A MELHORIA DOS PROCESSOS PRODUTIVOS EM UMA FÁBRICA DE PRODUTOS ELÉTRICOS

**Leila Figueiredo Dantas (UFS)**

leilinha\_lfd@hotmail.com

**Celso Satoshi Sakuraba (UFS)**

sakuraba@ufs.br

**Patricia Vieira Dias de Andrade (UFS)**

patrriciavieira@hotmail.com

**Joana Nogueira Santos Silva (UFS)**

joana\_nog@hotmail.com

**VINICIUS ROSENDO DOS SANTOS FONTES (UFS)**

fontesvinicius@hotmail.com



*Com o intuito de garantir o crescimento e sobrevivência no mercado competitivo, as empresas buscam cada vez mais a melhoria contínua nos processos produtivos. Para isso, deve-se racionalizar e aproveitar ao máximo os recursos disponíveis. O presente trabalho tem como objetivo resolver o problema da perda com balanceamento de uma linha de produção de uma fábrica de produtos elétricos, e para isso foi realizado um estudo de caso utilizando o estudo dos tempos e o método heurístico de Utilização Incremental no auxílio ao balanceamento. O trabalho apresenta como resultado uma linha de produção balanceada, com uma melhor alocação dos colaboradores entre os postos, diminuindo assim o tempo de trabalho ocioso e os estoques intermediários.*

*Palavras-chaves: perda, melhoria contínua, estudo dos tempos, balanceamento de linha, método heurístico*

## 1. Introdução

Para se adaptar à nova realidade competitiva do mercado, a produção da empresa moderna não deve tolerar qualquer tipo de perda no processo produtivo (BORNIA, 1995). Um tipo de perda bastante comum nas empresas atuais são as perdas por desbalanceamento, causadas pelo tempo desperdiçado por meio da alocação desigual de trabalho como porcentagem do tempo total investido no processamento de um produto ou serviço (BENZER et al., 2006).

Para Vieira (2009), o balanceamento de linha consiste em equilibrar a carga de trabalho entre os postos para que o tempo de trabalho ocioso seja reduzido, cumprindo as tarefas em ordem de execução e tempos pré-estabelecidos. O balanceamento de uma linha de produção ou de montagem leva ao equilíbrio da carga de trabalho entre os operários de modo a reduzir ao mínimo o tempo ocioso, o estoque entre os postos de trabalho e o tempo de ciclo do produto.

O presente trabalho tem como objetivo resolver o problema do balanceamento de uma linha de produção de uma fábrica de produtos elétricos, que segundo sua gerência possui um número suficiente de operadores para produzir a quantidade de produtos demandada, mas não consegue atingir a meta. Para solucionar esse problema, os tempos das tarefas foram cronometrados e o balanceamento da linha foi realizado utilizando um método heurístico, fornecendo o número necessário de estações de trabalho para atender à demanda e diminuindo o tempo ocioso dos colaboradores.

## 2. Estudo de tempos

O estudo de tempos é usado na determinação do tempo necessário para uma pessoa qualificada e bem treinada, trabalhando em ritmo normal, executar uma tarefa especificada. Este tempo é denominado o tempo-padrão para a operação, e serve de auxílio ao balanceamento de linhas de montagem (BARNES, 1977).

Segundo Corrêa e Corrêa (2010), o método do estudo de tempos consiste basicamente de cinco passos, cujo objetivo é determinar um tempo-padrão para as diversas tarefas. Tais passos são descritos a seguir:

- a) Definir a tarefa a ser estudada. Uma tarefa é uma parte do trabalho a ser realizado.

- b) Dividir a tarefa em elementos.
- c) Cronometrar os elementos: fazer a cronometragem de um trabalhador treinado no método de trabalho considerado. A média e a dispersão serão utilizadas na determinação do tamanho da amostra. Durante as cronometragens, qualquer evento especial (falha do equipamento, quebra de ferramenta etc.) deverá ser desconsiderado nos cálculos da média.
- d) Determinar o tamanho da amostra: o objetivo de um estudo de tempos é obter um valor de tempo para cada elemento que corresponda a um valor verdadeiro da média de tempos. A expressão a seguir fornecerá o tamanho necessário da amostra para a cronometragem:

$$n = \left[ \left( \frac{z}{p} \right) \left( \frac{\sigma}{\bar{t}} \right) \right]^2 \quad (1)$$

Onde:

$n$  = tamanho necessário da amostra

$z$  = quantidade de desvios-padrão necessários para o nível de confiança desejado

$p$  = precisão requerida para o tempo estimado como proporção do valor verdadeiro

$\sigma$  = desvio-padrão dos tempos representativos (preliminar)

$\bar{t}$  = média dos tempos (preliminar)

A Tabela 1 mostra os valores típicos para  $z$ :

Tabela 1 - Valores de  $z$  para o cálculo do número de amostras

| Confiança<br>desejada (%) | Z    |
|---------------------------|------|
| 90                        | 1,65 |
| 95                        | 1,96 |
| 96                        | 2,05 |
| 97                        | 2,17 |
| 98                        | 2,33 |
| 99                        | 2,58 |

Fonte: CORRÊA & CORRÊA (2010, p.366)

- e) Estabelecimento dos padrões: com base na determinação dos tamanhos de amostra necessários, o trabalho de cronometragem pode ser completado. No entanto, os valores obtidos estarão sujeitos a variações de ritmo do operador que está sendo analisado. A determinação desse ritmo é bastante subjetiva e depende da experiência do analista, que faz uma correção utilizando um fator de ritmo com base em seu julgamento. Utilizando tais correções, os **tempos normais (TN)** para cada tarefa são dados pela Equação (2).

$$TN = \text{Média dos tempos} \times \text{Fator de ritmo} \quad (2)$$

Porém, este tempo não pode ser utilizado como um valor definitivo, já que uma série de eventos ocorre durante o dia de trabalho fazendo com que a produção final obtida seja efetivamente menor do que a que seria calculada com o tempo encontrado. Para Moreira (2008), esses tempos consumidos não podem ser atribuídos de forma direta às operações, mas devem ser acrescidos ao tempo normal, resultando no tempo padrão (TP) dado pela Equação (3). Segundo Slack (2009), o tempo padrão refere-se ao tempo permitido para a realização do trabalho sob circunstâncias específicas, incluindo as tolerâncias (T) para pausa e descanso, que devem ser permitidos devido às condições sob as quais o trabalho é realizado.

$$TP = TN \times \frac{100}{100 - T} \quad (3)$$

Para Moreira (2008), para determinar o valor de T, é necessário verificar todas as condições que se aplicam à operação em estudo, somando cada percentual. A Tabela 2 apresenta os valores típicos de T.

Tabela 2 - Valores típicos para a Tolerância (em porcentagem)

| <b>I. Tolerâncias constantes</b>                   | <b>Porcentagem</b> |
|--|--------------------|
| 1. Tempo pessoal                                   | 5                  |
| 2. Fadiga básica                                   | 4                  |
| <b>II. Tolerâncias variáveis</b>                   |                    |
| 1. Posição anormal de trabalho                     |                    |
| a. Curvado   | 2                  |
| b. Deitado, esticado                               | 7                  |
| 2. Uso de força muscular (erguer, empurrar, puxar) |                    |
| Peso erguido em libras                             |                    |
| 5  | 0                  |
| 10   | 1                  |
| 15   | 2                  |
| 20   | 3                  |
| 25   | 4                  |
| 30   | 5                  |
| 35   | 7                  |
| 40   | 9                  |
| 45   | 11                 |
| 50   | 13                 |
| 60   | 17                 |
| 70   | 22                 |
| 3. Iluminação                                      |                    |
| a. Abaixo do recomendado                           | 2                  |
| b. Bastante inadequada                             | 5                  |
| 4. Nível de ruído                                  |                    |
| a. Intermitente e alto                             | 2                  |
| b. Intermitente e muito alto                       | 5                  |
| 5. Monotonia                                       |                    |
| a. Pequena   | 0                  |
| b. Média   | 1                  |
| c. Alta  | 4                  |

Fonte: Moreira (2008), adaptado de Niebel 1976, p.380

### 3. Balanceamento de linha

Segundo Becker e Scholl (2004), um Problema de Balanceamento de Linha de Montagem (ABLP) surge quando se deseja (re)configurar uma linha. O balanceamento consiste em equilibrar a carga de trabalho entre os postos para que o tempo de trabalho inútil seja reduzido, cumprindo as tarefas em ordens de execução e o tempo estabelecido. As razões para o balanceamento de uma linha de montagem consistem no equilíbrio da carga horária entre os operários, ou seja, em igualar as atividades entre os operários de modo a reduzir ao mínimo o tempo ocioso, o estoque entre os postos e o tempo de ciclo em cada posto (VIEIRA, 2009).

Segundo Gaither e Frazier (2002), o balanceamento de linha tem como objetivo fornecer a informação do número de trabalhadores, máquinas assistidas ou não assistidas e ferramentas necessárias para atender a demanda por mercado. Alguns dos termos utilizados no balanceamento de linha e que serão utilizados neste trabalho são listados a seguir.

- Tarefa: Menor unidade de trabalho considerada no estudo, que pode consistir de uma ou mais operações.
- Precedência da tarefa: A sequência ou ordem em que as tarefas devem ser executadas. A precedência de cada tarefa é conhecida a partir de uma lista das tarefas que devem ser executadas anteriormente a ela.
- Duração de tarefa: A quantidade de tempo necessária para que um trabalhador bem treinado ou máquina não assistida executem uma tarefa.
- Tempo de ciclo: O tempo entre dois produtos subsequentes que saem da linha de produção.
- Tempo produtivo por hora: O número de minutos que uma estação de trabalho opera em média a cada hora. Uma estação de trabalho pode não estar em operação devido a fatores como refeições, tempo pessoal, quebras, troca de ferramental e paralisações.
- Estação de trabalho: Localização física onde uma tarefa ou um conjunto particular de tarefas é executado.
- Centro de trabalho: Um conjunto de estações de trabalho próximas fisicamente. Quando é exigido que mais de uma estação de trabalho ofereça capacidade de produção suficiente, elas são combinadas para formar um centro de trabalho.
- Número de estações de trabalho em funcionamento: A quantidade de trabalho a ser feita no centro de trabalho, expressa em números de estações de trabalho.
- Número mínimo de estações de trabalho: O menor número de estações de trabalho que pode fornecer a produção exigida, calculado pela Equação (4).

$$\frac{\text{Soma de todos os tempos de tarefas}}{\text{Tempo de ciclo}} = \frac{\text{Soma de todos os tempos de tarefas} \times \text{Demanda}}{\text{Tempo produtivo por hora}} \quad (4)$$

- Número real de estações de trabalho: O número total de estações de trabalho necessárias na linha de produção inteira, calculada como o próximo valor inteiro mais alto do número de estações de trabalho em funcionamento.
- Utilização: A porcentagem de tempo que uma linha de produção trabalha. Isso é normalmente calculado por:

$$\frac{\text{Número mínimo de estações de trabalho}}{\text{Número real de estações de trabalho}} \times 100 \quad (5)$$

### 3.1. Etapas do balanceamento

Segundo Gaither e Frazier (2002) o balanceamento de uma linha de produção deve ser realizado em etapas:

- 1) Determinar quais tarefas devem ser executadas, e sua ordem ou sequência;
- 2) Traçar um diagrama de precedência;
- 3) Estimar as durações das tarefas;
- 4) Calcular o tempo de ciclo;
- 5) Calcular o número mínimo de estações de trabalho;
- 6) Utilizar uma regra para atribuir tarefas a estações de trabalho de forma que a linha de produção seja balanceada.

Primeiro se deseja identificar as tarefas ou operações necessárias para se fabricar o produto. Para cada tarefa deve-se determinar o tempo que ela leva para ser executada, além de quais tarefas devem precedê-las (BECKER & SCHOLL, 2005). Para Slack et al. (2009), uma das técnicas mais utilizadas para representar a ordem dos elementos que compõem o conteúdo do trabalho total é o diagrama de precedência, onde cada elemento é representado por um círculo. Deseja-se determinar também quantas unidades se deseja produzir durante um período. Com isso, é possível que produza o número desejado de unidades com a quantidade mínima de centros de trabalhos possível, equilibrando a carga de trabalho em cada estação (GAITHER e FRAZIER, 2002).

O tempo de ciclo é então determinado. Com esse tempo também é possível saber a frequência com que um produto é concluído. Ele pode ser calculado, de acordo com Gaither e Frazier (2002), por meio da Equação (6).

$$\text{Tempo de ciclo} = C = \frac{\text{tempo produtivo}}{\text{demanda}} \quad (6)$$

Na próxima etapa é calculado o número mínimo teórico de estações de trabalho. Com esse cálculo é possível saber qual o número de estações de trabalho que seriam necessárias se a linha fosse 100% eficiente. Como é quase impossível atingir os 100%, na maioria das vezes o número real de estações será maior do que o mínimo teórico (REID e SANDERS, 2005). Pode-se observar na Equação (7) o cálculo realizado nessa etapa.

$$\text{Número mínimo de estações de trabalho} = MT = \frac{\Sigma t}{C} = \frac{\Sigma t \times \text{demanda}}{\text{tempo produtivo}} \quad (7)$$

Onde:

$\Sigma t$  = Soma dos tempos das tarefas necessárias para completar uma unidade do produto

$C$  = Tempo de Ciclo

Por fim, as tarefas ou operações serão designadas às estações de trabalho, considerando os relacionamentos de precedência e o tempo de ciclo. Existem vários métodos que podem ser aplicados nesta etapa do balanceamento de linha, e os métodos heurísticos, ou baseados em regras simples, têm sido usados para desenvolver boas soluções para esses problemas, que mesmo sem a garantia de que estas soluções sejam ótimas, encontram soluções muito boas na maior parte dos casos. Entre esses métodos está a regra heurística de utilização incremental (IU) (GAITHER e FRAZIER, 2002).

Na última das etapas, calcula-se a utilização, que para Gaither e Frazier (2002) é a porcentagem de tempo que uma linha de produção trabalha (Equação 5).



### **3.2. Regra heurística de Utilização Incremental (IU)**

Essa regra é proposta por Gaither e Frazier (2002), e ela funciona simplesmente acrescentando Estações de Trabalho a Centros de trabalho em ordem de precedência de tarefa, uma de cada vez, até que a utilização seja de 100% ou se observe que tal utilização caia. Então, esse procedimento é repetido no Centro de trabalho seguinte para as tarefas restantes. Ela é apropriada quando uma ou mais durações de tarefas de uma estação de trabalho são iguais ou maiores do que a duração do ciclo.

A vantagem dessa regra é que ela é capaz de resolver problemas de balanceamento de linha independentemente da duração das tarefas em relação à duração do ciclo (GAITHER e FRAZIER, 2002). Diferentemente da regra heurística da mais longa duração, as tarefas podem ter um tempo maior do que a duração do ciclo.

## **4. Descrição da empresa do estudo de caso**

Um estudo de caso foi realizado em uma empresa no ramo de produtos elétricos com o intuito de balancear uma linha de montagem. A linha em estudo é caracterizada como um sistema de produção em massa, e com dependência de muita mão-de-obra, visto que não possui muitas máquinas automatizadas.

O setor de produção é dividido em várias linhas de produção, e cada uma produz um produto diferente. O foco do estudo foi uma linha que produz diariamente cerca de 5500 a 8000 produtos, a depender da época do ano, e que emprega cerca de 40 a 65 colaboradores, distribuídos em 27 tarefas (25 dependentes e 2 independentes). No momento da pesquisa, a linha possuía 49 colaboradores, com uma meta de 6500 produtos por dia.

As rotinas de execução das atividades são muito semelhantes, já que o processo de fabricação não possui muita variação.

## **5. Balanceamento da linha de montagem da empresa Estudo de Caso**

Para realizar o Balanceamento da Linha de Produção em estudo, primeiro foi realizado o estudo dos tempos. Para isso, a linha de produção foi dividida em tarefas com o objetivo de encontrar o tempo de execução de cada uma.

Como os tempos das tarefas eram menores do que dois minutos, os tempos e as dispersões foram obtidos numa cronometragem preliminar de 10 medidas para cada tarefa, como o indicado na literatura de Barnes (1977).

Com esses valores, foi determinado o tamanho necessário da amostra para garantir que o tempo a ser obtido no estudo de tempos tenha uma precisão dentro de 5% do valor médio verdadeiro com uma confiança de 95%. As 10 medidas preliminares podem ser observados na tabela 3.

Tabela 3 - As 10 medidas preliminares para cada tarefa

| Nº | DESCRIÇÃO DA TAREFA                | T1<br>(s) | T2<br>(s) | T3<br>(s) | T4<br>(s) | T5<br>(s) | T6<br>(s) | T7<br>(s) | T8<br>(s) | T9<br>(s) | T10<br>(s) | Média<br>dos tempos<br>(t) |
|----|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------------------------|
| 1  | COLOCAR FIO TERRA NA CAIXINHA      | 4,41      | 4,14      | 3,85      | 3,93      | 4,05      | 3,97      | 4,35      | 3,97      | 3,70      | 3,87       | 4,02                       |
| 2  | PRENSAR GARRAS DO DIAFRAGMA        | 6,45      | 5,15      | 5,20      | 6,06      | 4,91      | 6,66      | 5,73      | 6,94      | 6,14      | 6,90       | 6,01                       |
| 3  | PASSAR FIO TERRA PELO DIAFRAG.     | 11,99     | 11,11     | 8,47      | 9,14      | 8,54      | 6,78      | 7,34      | 6,49      | 7,36      | 7,73       | 8,49                       |
| 4  | ENCAIXE DO DIAFRAGMA               | 5,22      | 6,17      | 5,38      | 6,30      | 4,69      | 3,24      | 3,84      | 4,48      | 4,49      | 4,95       | 4,88                       |
| 5  | COLOCAÇÃO ANEL TRAVA               | 5,99      | 5,28      | 4,72      | 4,90      | 4,05      | 5,41      | 6,65      | 4,93      | 4,01      | 3,85       | 4,98                       |
| 6  | MOLA NA PLATAFORMA                 | 4,41      | 4,31      | 5,08      | 5,67      | 3,85      | 4,64      | 5,51      | 4,48      | 5,49      | 4,63       | 4,81                       |
| 7  | COLOCAR PLATAFORMA SOBRE DIAFRAGMA | 8,52      | 8,13      | 8,09      | 7,56      | 10,80     | 8,15      | 12,03     | 14,08     | 8,17      | 7,50       | 9,30                       |
| 8  | PRENSAR PLATAFORMA                 | 5,75      | 6,04      | 4,73      | 7,05      | 5,30      | 6,16      | 5,85      | 5,51      | 4,96      | 3,63       | 5,50                       |
| 9  | COLOCAR ESPAGUETE                  | 6,93      | 6,83      | 6,92      | 6,67      | 6,44      | 6,06      | 6,85      | 7,78      | 5,81      | 6,02       | 6,63                       |
| 10 | COLOCAR TRAVA                      | 4,60      | 4,95      | 5,79      | 5,16      | 4,32      | 4,75      | 5,19      | 5,16      | 5,46      | 5,02       | 5,04                       |
| 11 | COLOCAÇÃO ARRUELA DE SAÍDA FINA    | 2,68      | 3,19      | 2,67      | 2,97      | 2,61      | 2,95      | 2,47      | 2,96      | 2,85      | 2,47       | 2,78                       |
| 12 | TESTE DE VAZAMENTO                 | 7,72      | 9,51      | 10,15     | 11,21     | 10,17     | 10,00     | 8,63      | 9,22      | 7,75      | 6,03       | 9,04                       |
| 13 | COLOCAÇÃO DO PINO E ROTOR          | 9,85      | 9,17      | 9,56      | 10,14     | 14,96     | 11,19     | 8,31      | 10,86     | 10,59     | 11,06      | 10,57                      |
| 14 | COLOCAÇÃO DA TAMPA                 | 2,68      | 3,19      | 2,67      | 2,97      | 3,28      | 3,69      | 2,79      | 2,75      | 2,51      | 3,66       | 3,02                       |
| 15 | COLOCAÇÃO DA RESISTÊNCIA           | 4,61      | 4,63      | 4,20      | 6,07      | 4,31      | 5,63      | 6,15      | 6,95      | 5,73      | 6,83       | 5,51                       |
| 16 | COLOCAÇÃO DO BOJO                  | 4,52      | 4,74      | 4,80      | 5,36      | 5,70      | 5,73      | 5,37      | 5,77      | 4,75      | 5,27       | 5,20                       |
| 17 | TESTE DE SENSIBILIDADE             | 5,41      | 5,62      | 5,93      | 4,65      | 5,02      | 4,85      | 6,01      | 6,21      | 3,78      | 6,06       | 5,35                       |
| 18 | LIMPEZA                            | 2,27      | 3,00      | 2,55      | 2,24      | 2,49      | 2,98      | 2,25      | 2,34      | 2,42      | 2,45       | 2,50                       |
| 19 | PASSAR PRIME                       | 2,01      | 1,96      | 2,30      | 2,09      | 1,86      | 1,98      | 2,35      | 1,94      | 2,05      | 2,10       | 2,06                       |
| 20 | GRAVAÇÃO                           | 2,99      | 3,34      | 2,86      | 2,61      | 2,96      | 2,90      | 2,63      | 2,63      | 3,64      | 2,81       | 2,94                       |
| 21 | FITA LACRE                         | 4,23      | 5,52      | 5,44      | 6,18      | 5,29      | 5,85      | 5,32      | 5,12      | 5,33      | 6,48       | 5,48                       |
| 22 | EMBALAR                            | 3,65      | 5,46      | 4,90      | 4,90      | 5,17      | 6,03      | 5,13      | 5,85      | 5,87      | 6,10       | 5,30                       |
| 23 | SELAR O SAQUINHO                   | 2,08      | 2,16      | 2,99      | 2,43      | 2,44      | 2,39      | 2,10      | 2,99      | 2,41      | 3,10       | 2,51                       |
| 24 | GRAMPEAR CARTELA                   | 3,97      | 4,03      | 3,96      | 4,97      | 4,41      | 3,58      | 3,89      | 4,01      | 4,02      | 3,63       | 4,05                       |
| 25 | COLOCAR NA CAIXA                   | 4,43      | 5,76      | 4,69      | 4,75      | 5,37      | 5,42      | 4,90      | 6,33      | 5,74      | 4,51       | 5,19                       |

Fonte: Tabela elaborada pelos autores

Segundo Corrêa e Corrêa (2010) utiliza-se a Equação (1) para calcular o tamanho da amostra. Como o nível de precisão é de 5%, o valor de  $p$  é de 0,05. O valor de  $z$ , obtido na tabela 1, será de 1,96 (para 95% de confiança). Para cada operação, foi calculado um valor  $n$  diferente. O cálculo do número de amostras foi realizado para todas as 25 tarefas, e pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 - Número necessário de amostras segundo Corrêa e Corrêa

| TAREFA | Média dos tempos (t) | Desvio padrão ( $\sigma$ ) | Precisão (p) | Z    | Tamanho necessário da amostra (n) |
|--------|----------------------|----------------------------|--------------|------|-----------------------------------|
| 1      | 4,02                 | 0,22                       | 0,05         | 1,96 | 5                                 |
| 2      | 6,01                 | 0,74                       | 0,05         | 1,96 | 24                                |
| 3      | 8,49                 | 1,81                       | 0,05         | 1,96 | 70                                |
| 4      | 4,88                 | 0,95                       | 0,05         | 1,96 | 59                                |
| 5      | 4,98                 | 0,90                       | 0,05         | 1,96 | 50                                |
| 6      | 4,81                 | 0,60                       | 0,05         | 1,96 | 24                                |
| 7      | 9,30                 | 2,23                       | 0,05         | 1,96 | 89                                |
| 8      | 5,50                 | 0,93                       | 0,05         | 1,96 | 44                                |
| 9      | 6,63                 | 0,58                       | 0,05         | 1,96 | 12                                |
| 10     | 5,04                 | 0,42                       | 0,05         | 1,96 | 11                                |
| 11     | 2,78                 | 0,24                       | 0,05         | 1,96 | 11                                |
| 12     | 9,04                 | 1,53                       | 0,05         | 1,96 | 44                                |
| 13     | 10,57                | 1,79                       | 0,05         | 1,96 | 44                                |
| 14     | 3,02                 | 0,42                       | 0,05         | 1,96 | 30                                |
| 15     | 5,51                 | 1,02                       | 0,05         | 1,96 | 53                                |
| 16     | 5,20                 | 0,47                       | 0,05         | 1,96 | 12                                |
| 17     | 5,35                 | 0,78                       | 0,05         | 1,96 | 32                                |
| 18     | 2,50                 | 0,28                       | 0,05         | 1,96 | 19                                |
| 19     | 2,06                 | 0,16                       | 0,05         | 1,96 | 9                                 |
| 20     | 2,94                 | 0,33                       | 0,05         | 1,96 | 19                                |
| 21     | 5,48                 | 0,61                       | 0,05         | 1,96 | 19                                |
| 22     | 5,30                 | 0,74                       | 0,05         | 1,96 | 30                                |
| 23     | 2,51                 | 0,38                       | 0,05         | 1,96 | 36                                |
| 24     | 4,05                 | 0,40                       | 0,05         | 1,96 | 15                                |
| 25     | 5,19                 | 0,63                       | 0,05         | 1,96 | 23                                |

Fonte: Tabela elaborada pelos autores

Todas as tarefas foram cronometradas o suficiente para o seu próprio número de amostras necessário, e depois calculou-se a média de tempo de execução para cada uma. Como os valores obtidos poderão estar sujeitos a variações de ritmo do operador que está sendo analisado, deve ser estimado o quanto acima ou abaixo de um ritmo de trabalho considerado normal o operador estava trabalhando durante a cronometragem. Visto que os tempos não tiveram nenhum valor discrepante entre um colaborador e outro, o fator de ritmo julgado vai ser igual a 1.

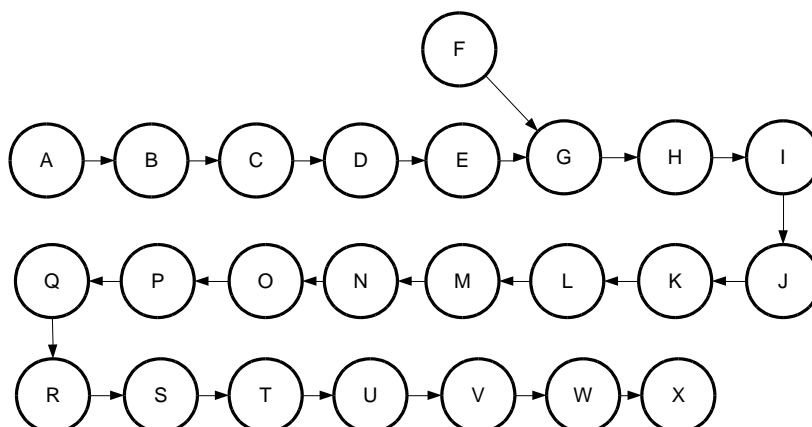
O tempo normal (TN) foi encontrado através da equação (2) e o tempo padrão através da equação (3). Os tempos encontrados, como também as tarefas predecessoras, podem ser observados na tabela 5, e o diagrama de precedência na figura 1.

Tabela 5 - Tarefas precedentes, tempos normais e tempo padrão para a execução de cada tarefa

| Tarefas                               | Tarefas que devem preceder | Tempo Normal para executar a tarefa (seg) | Tolerância (em %) | Tempo Padrão (seg) |
|---------------------------------------|----------------------------|---|-------------------|--------------------|
| A. COLOCAR FIO TERRA NA CAIXINHA      | -                          | 4,02                                      | 11                | 4,52               |
| B. PRENSAR GARRAS DO DIAFRAGMA        | A                          | 6,20                                      | 11                | 6,97               |
| C. PASSAR FIO TERRA PELO DIAFRAG.     | B                          | 9,18                                      | 12                | 10,43              |
| D. ENCAIXE DO DIAFRAGMA               | C                          | 5,00                                      | 12                | 5,69               |
| E. COLOCAÇÃO ANEL TRAVA               | D                          | 5,22                                      | 12                | 5,94               |
| F. MOLA NA PLATAFORMA                 | -                          | 4,88                                      | 12                | 5,55               |
| G. COLOCAR PLATAFORMA SOBRE DIAFRAGMA | E,F                        | 10,23                                     | 12                | 11,63              |
| H. PRENSAR PLATAFORMA                 | G                          | 5,69                                      | 12                | 6,47               |
| I. COLOCAR ESPAGUETE                  | H                          | 6,91                                      | 12                | 7,85               |
| J. COLOCAR TRAVA                      | I                          | 5,15                                      | 12                | 5,85               |
| K. COLOCAÇÃO ARRUELA DE SAÍDA FINA    | J                          | 2,75                                      | 12                | 3,13               |
| L. TESTE DE VAZAMENTO                 | K                          | 9,33                                      | 15                | 10,97              |
| M. COLOCAÇÃO DO PINO E ROTOR          | L                          | 11,29                                     | 11                | 12,68              |
| N. COLOCAÇÃO DA TAMPA                 | M                          | 3,14                                      | 12                | 3,57               |
| O. COLOCAÇÃO DA RESISTÊNCIA           | N                          | 5,44                                      | 14                | 6,33               |
| P. COLOCAÇÃO DO BOJO                  | O                          | 5,20                                      | 14                | 6,05               |
| Q. TESTE DE SENSIBILIDADE             | P                          | 5,39                                      | 12                | 6,12               |
| R. LIMPEZA                            | Q                          | 2,58                                      | 11                | 2,90               |
| S. PASSAR PRIME                       | R                          | 2,06                                      | 11                | 2,32               |
| T. GRAVAÇÃO                           | S                          | 2,92                                      | 11                | 3,28               |
| U. FITA LACRE                         | T                          | 5,47                                      | 12                | 6,22               |
| V. EMBALAR                            | U                          | 5,92                                      | 11                | 6,65               |
| W. SELAR O SAQUINHO                   | V                          | 2,66                                      | 12                | 3,02               |
| X. GRAMPEAR CARTELA                   | W                          | 4,11                                      | 12                | 4,67               |
| Y. COLOCAR NA CAIXA                   | X                          | 5,35                                      | 11                | 6,02               |
| <b>Total</b>                          |                            | <b>136,11</b>                             |                   | <b>154,81</b>      |

Fonte: Tabela elaborada pelos autores

Figura 1 - Diagrama de precedência da linha de produção em estudo



Fonte: Figura elaborada pelos autores

O próximo passo é o cálculo do tempo de ciclo (C), e deve-se levar em conta uma série de eventos que ocorre durante o dia de trabalho. Quebras de máquina, revezamentos e ginástica laboral são exemplos de eventos que ocorrem na linha de produção durante todo o dia. Esses tempos consumidos não podem ser atribuídos de forma direta às tarefas, mas devem ser acrescidos ao tempo de ciclo.

Na linha de produção em estudo, há uma perda aproximada de 98 minutos por dia, totalizando 18,56% do tempo total de trabalho de 8,8 horas por dia, devido à prática da ginástica laboral 4 vezes ao dia, revezamentos de hora em hora e paradas devido a problemas na máquina.

Para o cálculo do tempo de ciclo foram utilizados os tempos em segundos. Dos 31.680 segundos disponíveis por dia, o tempo improdutivo é de 5.880 segundos deixando 25.800 segundos de tempo produtivo. Como a demanda diária é de 6.500 produtos, o Tempo de Ciclo (C) calculado pela Equação (6) é de 3,97 segundos/produto.

$$C = \frac{25800}{6500} = 3,97 \text{ segundos/produto}$$

Na próxima etapa foi calculado o número mínimo teórico de estações de trabalho. Com esse cálculo, é possível saber qual o número de estações de trabalho que seriam necessários se a linha fosse 100% eficiente. Como é quase impossível atingir os 100%, na maioria das vezes o número real de estações será maior do que o mínimo teórico. Pode-se observar através da Equação (4) o cálculo realizado nessa etapa.

$$MT = \frac{149,72 \times 6500}{25800} = 37,72$$

### 5.1. Aplicação do método heurístico de utilização incremental

Por fim, as tarefas foram designadas às estações de trabalho. O método utilizado foi a regra heurística de Utilização Incremental (IU), a proposta por Gaither e Frazier (2002), já que a maioria dos tempos das tarefas são superiores ao tempo de ciclo.

As tarefas vão sendo acrescentadas às estações de trabalho em ordem de precedência uma por vez, até que a utilização seja de 100% ou se observe que tal utilização caia. Como a maioria das tarefas possuem o tempo de execução da tarefa maior do que o tempo de ciclo, na maioria das vezes uma só tarefa necessitará de mais de uma estação de trabalho. Lembrando que estação de trabalho é o local onde uma ou mais tarefas são executadas. Para saber qual o número de estações de trabalho necessárias divide-se o TP da tarefa pelo TC. Se, por exemplo, o resultado for de 1,14 estações de trabalho, o número real de estações de trabalho necessárias será 2, sempre arredondando para mais. Então, como só vai haver uma utilização de 56,93% e o tempo ocioso é alto, as próximas tarefas são adicionadas a esse centro de trabalho, até que sua utilização caia ou atinja os 100%. Quando chegar a essa utilização, as tarefas vão ser adicionadas a um novo centro de trabalho. O centro de trabalho é uma localização física onde as estações de trabalho idênticas estão localizadas. Esse procedimento é repetido até que todas as tarefas sejam alocadas a centros de trabalho.

Na Tabela 6 podem ser observadas quais tarefas são alocadas a quais centros de trabalho, e quantas estações de trabalho são necessárias para realizar a produção. Os números destacados em vermelho significam quantas estações de trabalho vão ser necessárias naquele centro de trabalho.

Tabela 6 - Distribuição das tarefas em estações e centros de trabalho

| Centro de Trabalho (CT) | Tarefa  | Segundos/Produto | Número de estações de trabalho em funcionamento | Número real de estações de trabalho necessárias | Utilização de estações de trabalho (%) | Tempo Ocioso por CT (%) |
|-------------------------|---------|------------------|---|---|--|-------------------------|
| 1                       | A       | 4,52             | 1,14  | 2   | 56,93                                  |                         |
|                         | A,B     | 11,49            | 2,89  | 3   | 96,45                                  | 3,55                    |
| 2                       | C       | 10,43            | 2,63  | 3   | 87,63                                  | 12,37                   |
| 3                       | D       | 5,69             | 1,43  | 2   | 71,64                                  |                         |
|                         | D,E     | 11,62            | 2,93  | 3   | 97,61                                  | 2,39                    |
| 4                       | F       | 5,55             | 1,40  | 2   | 69,90                                  |                         |
|                         | F,G     | 17,18            | 4,33  | 5   | 86,54                                  |                         |
|                         | F,G,H   | 23,64            | 5,96  | 6   | 99,27                                  | 0,73                    |
| 5                       | I       | 7,85             | 1,98  | 2   | 98,92                                  | 1,08                    |
| 6                       | J       | 5,85             | 1,47  | 2   | 73,69                                  |                         |
|                         | J,K     | 8,97             | 2,26  | 3   | 75,37                                  |                         |
|                         | J,K,L   | 19,95            | 5,03  | 6   | 83,77                                  |                         |
|                         | J,K,L,M | 32,63            | 8,22  | 9   | 91,34                                  | 8,66                    |
| 7                       | N       | 3,57             | 0,90  | 1   | 89,97                                  | 10,03                   |
| 8                       | O       | 6,33             | 1,59  | 2   | 79,71                                  | 20,29                   |
| 9                       | P       | 6,05             | 1,52  | 2   | 76,16                                  |                         |
|                         | P,Q     | 12,17            | 3,07  | 4   | 76,65                                  |                         |
|                         | P,Q,R   | 15,07            | 3,80  | 4   | 94,94                                  | 5,06                    |
| 10                      | S       | 2,32             | 0,58  | 1   | 58,42                                  |                         |
|                         | S,T     | 5,60             | 1,41  | 2   | 70,55                                  |                         |
|                         | S,T,U   | 11,82            | 2,98  | 3   | 99,24                                  | 0,76                    |
| 11                      | V       | 6,65             | 1,68  | 2   | 83,75                                  | 16,25                   |
| 12                      | W       | 3,02             | 0,76  | 1   | 76,04                                  |                         |
|                         | W,X     | 7,69             | 1,94  | 2   | 96,86                                  | 3,14                    |
| 13                      | Y       | 6,02             | 1,52  | 2   | 75,79                                  | 24,21                   |

Fonte: Tabela elaborada pelos autores

Tendo como exemplo o Centro de trabalho 4, observa-se que são necessárias 6 estações de trabalho para a realização de 3 tarefas (F, G e H). Como o layout em estudo é o layout por produto, então neste trabalho o balanceamento teve como objetivo afirmar que para realizar essas 3 tarefas, são necessários 6 colaboradores, que podem se distribuir entre elas a depender dos estoques intermediários e tempo de ciclo de cada uma. O que não pode acontecer é o centro de trabalho possuir menos ou mais colaboradores do que o necessário. Caso houvesse 6 máquinas para cada uma dessas tarefas, esse balanceamento poderia significar que 6 colaboradores realizariam sempre as 3 tarefas. Ou seja, que a tarefa F, G e H seriam realizadas pelo mesmo colaborador, e precisariam de 6 estações de trabalho idênticas. É importante observar que, como o layout é em linha, não precisariam de 6 máquinas para cada tarefa, visto que é visível que duas tarefas não irão ficar sem nenhum colaborador. O importante é que,



para todos os centros de trabalho acima, a linha de produção em estudo possua máquinas suficiente para a realização do trabalho. Por exemplo, no centro de trabalho 2, a tarefa C possui mesa suficiente para todos os 3 colaboradores. Lembrando que, nenhuma tarefa pode ficar sem nenhum colaborador, senão a produção em linha vai ser interrompida. Esse estudo de balanceamento não teve como objetivo mudar o tipo de layout, nem as máquinas de local, apenas realocar melhor os colaboradores nos postos de trabalho já existentes.

Ao total, vão ser necessários 42 estações de trabalho, divididas em 13 centros de trabalho, com uma taxa de utilização de 93%.

$$U = \frac{37,72}{42} \times 100 = 93\%$$

## 6. Considerações finais

Com o balanceamento de linha concluiu-se que é necessário um total de 42 estações de trabalho, ou seja, 42 colaboradores cada qual executando um conjunto de tarefas ou uma tarefa. Mesmo com apenas 25 tarefas na linha de produção, esse número é maior devido à necessidade que algumas tarefas têm de ter mais de uma estação de trabalho. Isso ocorre quando seu tempo de execução é maior do que o tempo de ciclo. Para melhor alocação e diminuição da ociosidade, as estações de trabalho foram alocadas em 13 centros de trabalho. Como a linha de produção possuía 47 colaboradores executando as 25 tarefas podemos concluir que com o balanceamento da linha e uma melhor alocação do pessoal nos centros, 5 colaboradores poderiam ser remanejados para outros setores, e ainda assim a demanda seria atingida. Lembrando que a linha possuía 47 colaboradores executando as tarefas dependentes, e mais 2 realizando as tarefas independentes (Reteste e Desmanche), totalizando 49 colaboradores. Esse balanceamento diminui os estoques intermediários entre as tarefas, os tempos ociosos e o tempo total de trabalho é melhor distribuído entre os funcionários.

## REFERÊNCIAS

BARNES, Ralph Mosser. **Estudo de movimentos e de tempos**: projeto e medida do trabalho. São Paulo: Blucher, 1977. 635p.

BECKER, C.; SCHOLL, A. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. **European Journal of Operational Research**. Alemanha, v. 168, n. 3, p. 694-715, fev. 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.023>>. Acesso em: 02 jan. 2014

BENZER, R.; AGPAK, K.; GOKÇEN, H. Balancing of parallel assembly lines. **International Journal of Production Economics**. Turquia, v. 103, n. 2, p. 600-609, out. 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.12.001>>. Acesso em: 02 jan. 2014

BORNIA, A. C. **Mensuração das perdas dos processos produtivos: uma abordagem metodológica de controle interno**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 1995.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2. ed. 5. reimpr. São Paulo: Atlas, 2010. 690 p.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg; SANTOS, José Carlos Barbosa dos (Trad.). **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002. 598 p.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 624 p.

REID, R. Dan; SANDERS, Nada R; ALENCAR, Dalton Conde de (Trad.). **Gestão de operações**. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 423 p.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 703 p.

VIEIRA, L. H. S. **Balanceamento de uma linha de montagem na Adira S.A.** 2009. 63p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, Portugal, 2009.